

# Led verlichting: gebruiksduur of levensduur?

Peter Bracke  
Catherine Lootens  
Bart Van Giel  
Johan Bleumers  
Peter Hanselaer  
Wouter Ryckaert



TECHNOLOGIECAMPUS GENT



# Maintenance factor, levensduur en optimale gebruiksduur van led verlichtingstoestellen.

---



## Inhoud

Inleiding .....	3
<i>Maintenance factor</i> met fluorescentie verlichting .....	4
<i>Maintenance factor</i> voor led-verlichting.....	6
Welke tijdsduur (Lxx) gebruiken? .....	7
Oorzaken van lichtstroom-afname.....	9
Bepaling lichtstroombehoud van led-packages .....	12
Bepaling lichtstroombehoud van led-verlichtingstoestellen .....	12
<i>Extrapolatie t.o.v. realiteit: led-vervanglamp</i> .....	13
Defecten .....	14
Definitie levensduur .....	15
Besluit .....	15

## Inleiding



Normen zoals NBN EN 12464-1:2011 voor werkplekverlichting vermelden verlichtingssterktes die moeten toelaten om voldoende efficiënt, accuraat en comfortabel taken te verlichten. Deze norm bepaalt niet de verlichtingsvereisten voor veiligheid en gezondheid. De uitvoeringsbesluiten in de Codex over het welzijn op het werk stellen dat de werkgever die de vereisten van deze norm toepast “wordt vermoed te hebben gehandeld om ongevallen door de aanwezigheid van voorwerpen of hindernissen en vermoeidheid van de ogen te voorkomen”. Bijgevolg kan NBN EN 12464-1:2011 gebruikt worden, tenzij een risicoanalyse tot een strengere bepaling leidt.

De norm stelt dat “*all values of illuminances specified in this European Standard are maintained illuminances*”. De opgegeven verlichtingssterktes moeten ten allen tijde gegarandeerd zijn. Er treedt veroudering op van de verlichtingsinstallatie en van de lichtreflectie van de ruimtewanden. Dit betekent dat de verlichtingsinstallatie initieel moet over-gedimensioneerd zijn om aan het einde van de levensduur nog een voldoende verlichtingssterkte (*lux*) te hebben. De inrekening hiervan gebeurt volgens CIE 097:2005 met behulp van de *maintenance factor MF*, waarbij *maintenance* hierin zowel de betekenissen ‘onderhoud’ als ‘behoud’ heeft. Een juiste vertaling zou daarom zijn: ‘de behouds- en onderhoudsfactor’, en wordt ook vaak depreciatiefactor genoemd. De *maintenance factor* bevat 4 deelfactoren:

- **LLMF**: behoud van de lichtstroom van de lichtbronnen in de tijd (*lamp lumen maintenance factor*)
- **LSF**: uitval van een bepaald percentage van de lichtbronnen (*lamp survival factor*)
- **LMF**: vervuiling en degradatie van de armaturen (*luminaire maintenance factor*)
- **RSMF**: vervuiling van de ruimte (*room surface maintenance factor*)

De *maintenance factor* wordt berekend door vermenigvuldiging van de waardes van deze 4 parameters:  **$MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RSMF$**

LSF = 1 indien een lamp onmiddellijk vervangen wordt bij defect.

LSF < 1 is van toepassing indien de lampvervanging slechts periodiek gebeurt, wat een optie is in toepassingen waar een oppervlak verlicht wordt door meerdere lichtbronnen en/of een goede uniformiteit niet vereist is.

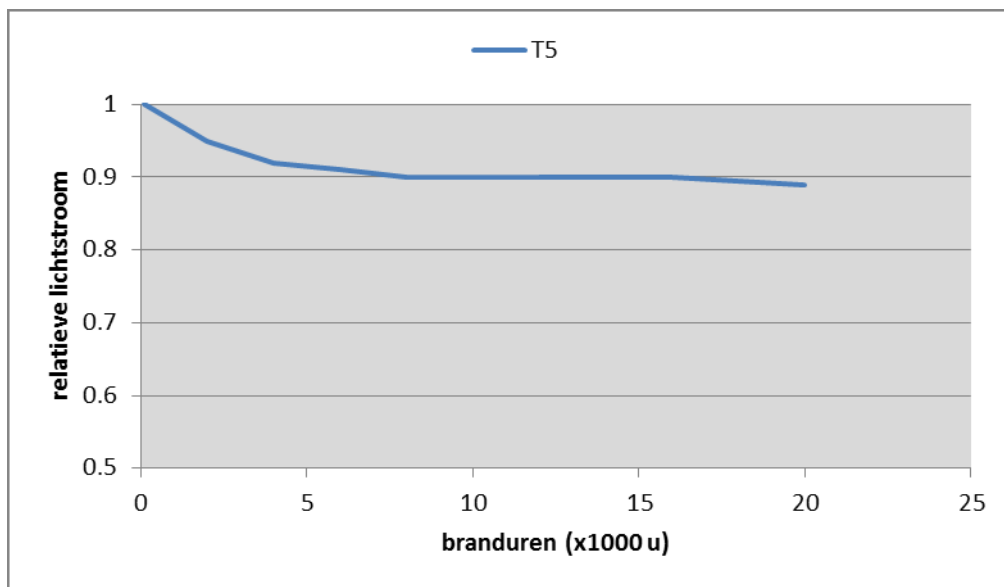
De andere componenten die defect kunnen gaan zoals ballast/voorschakelapparaat/driver, dimmer, constant lichtregeling worden niet meegenomen in de *maintenance factor*. Er wordt verondersteld dat deze onmiddellijk vervangen worden bij defect.

## Maintenance factor met fluorescentieverlichting



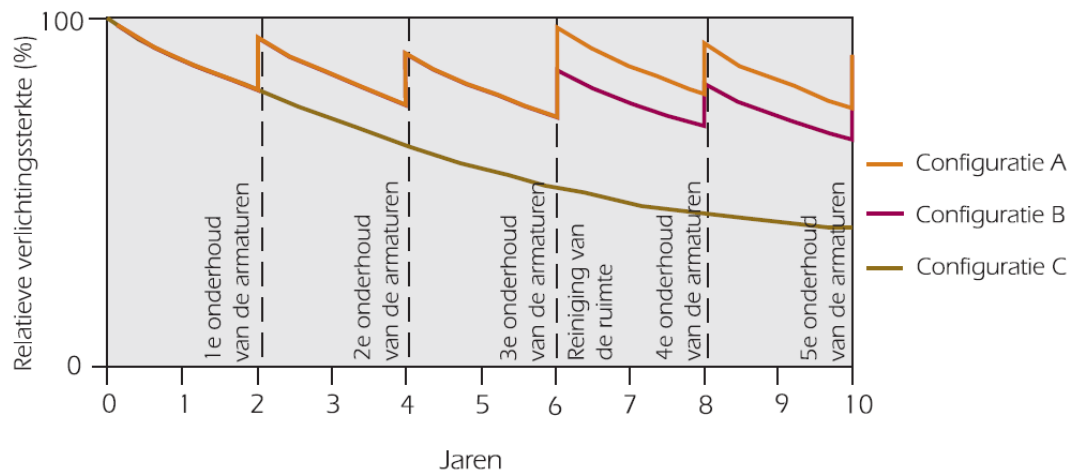
Als courante praktijk kan bij fluorescentieverlichting voor kantoren en klaslokalen een MF = 0,78 worden toegepast. Er wordt dus rekening gehouden met een afname van de verlichtingssterkte van 22% tot aan een volgende onderhoudsbeurt / renovatie. De verlichtingsinstallatie wordt daarom minstens +28% ( $1/0.78$ ) over-gedimensioneerd.

Er wordt hierbij voor LLMF van tl-lampen uitgegaan van een waarde  $\cong 0,90$ . Zoals ook blijkt uit onderstaande grafiek vindt het overgrote deel van de terugval van de lichtstroom van tl-lampen plaats in de eerste 5000 branduren van de lampen. Hierna blijft de lichtstroom uit de lamp bijna constant, rond 90%. Op het ogenblik van het gemiddelde defect ( $\cong 20.000$  u voor de meest gebruikte T5's) is de lichtstroom ongeveer 90% van de initiële lichtstroom.



Er is weinig spreiding van lamp tot lamp en ook de invloed van de gebruikte armatuur is zeer beperkt, zodat de waarde voor LLMF bij fluorescentieverlichting betrouwbaar is voor berekening van MF. Het einde van de levensduur van tl-lampen is overwegend door een defect (niet meer opstarten), en niet door een te grote terugval van de lichtstroom. Bij led-verlichting is dit net andersom (zie verder).

Voor de vervuiling van armaturen en ruimtewanden (LMF en RSMF) bestaan tabellen: CIE97:2005<sup>i</sup> en TNO 2004-GGI-R027. Onderstaande grafiek onderstreept het belang van het onderhoud van armaturen en wanden:



A: 2 jaarlijks onderhoud van de armaturen (2 j) + reiniging van de muren (6 j)

B: 2 jaarlijks onderhoud van de armaturen (2 j)

C: geen onderhoud (bron: WTCB)

Voor een propere ruimte (kantoor, klaslokaal) met verlichtingstoestellen met T5 fluorescentielampen blijkt uit de tabellen dat de LMF  $\cong 0,92$  bij jaarlijks onderhoud, en de RSMF  $\cong 0,94$  voor onderhoudsintervallen van 1 – 6 jaar.

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RSMF \cong 0,90 \times 1 \times 0,92 \times 0,94 = 0,90 \times 0,865 = 0,78$$

De LLMF en RSMF zijn vrij constant in deze toepassing, vandaar dat men vaak een vaste waarde neemt voor de MF.

Het onderhoudsinterval van de armaturen heeft een grote impact op de *maintenance factor*. Er is een belangrijk verschil tussen de tabellen van CIE 97:2005 en verordening EU 245/2009. Deze laatste vermeldt: “Armaturen hebben een armatuurbehoudsfactor (LMF)  $> 0,95$  bij normale graad van vervuiling in kantoren met een reinigingscyclus van 4 jaar”. Daarom lopen nu nieuwe studies om tot actuelere tabellen te komen (o.a. CEN M/485).

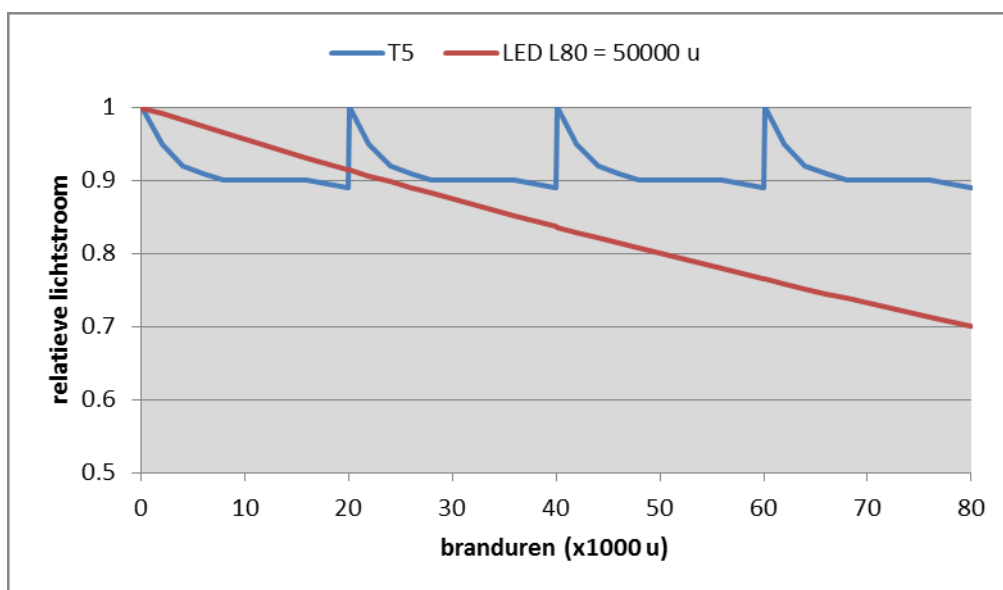
De mogelijke vergeling van kunststoffen en witte lak in de armatuur, of de delaminatie en het dof worden van spiegellende oppervlakken (na een lange gebruiksduur), moeten in principe ook in rekening gebracht in de LMF. Meestal wordt dit genegeerd.

## Maintenance factor voor led-verlichting



In bovenstaand voorbeeld (kantoor, klaslokaal) kan voor led-verlichting niet meer uitgegaan worden van een standaard MF. De factor RSMF is wel nog steeds dezelfde. De armatuur is anders opgebouwd en de armatuurbehoudsfactor (LMF) zal voor direct stralende toestellen waarschijnlijk beter zijn dan voor tl-armaturen, omdat er geen vuil bovenop een lamp accumuleert. Alhoewel er nog geen tabellen zijn voor de LMF van led-verlichtingstoestellen kan de waarde 0,95 (van EU 245/2009) gebruikt worden. Voor de reinigingscyclus van het verlichtingstoestel dient ook rekening gehouden te worden met de vereisten voor koeling: periodiek stof verwijderen van de koeloppervlakken bevordert de luchtstroom en houdt de warmteweerstand laag.

De LLMF voor led verlichtingstoestellen is niet constant en wordt lager als een grotere gebruiksduur gekozen wordt.



De levensduur van de lichtbron wordt niet langer bepaald door de tijdsduur tot het gemiddelde defect, maar wel door de tijdsduur waarbij er nuttige werking is.

Het gemiddelde lichtstroombehoud van led-verlichtingstoestellen wordt courant beschreven met behulp van de Lxx-waarde, dewelke een tijdsduur aangeeft in functie van het gewenste lichtstroombehoud: 90%, 80%, 70%, xx% behoud van de initiële lichtstroom. Deze waarde is afhankelijk van de omgevingstemperatuur. De fabrikant van verlichtingstoestellen kan de verschillende Lxx waarden bezorgen, vaak bij meer dan één omgevingstemperatuur. Voor de *maintenance factor* wordt voor de LLMF het lichtstroombehoud gebruikt bij de geplande gebruiksduur en omgevingstemperatuur: de LLMF is de xx-waarde die overeenstemt met Lxx = gebruiksduur.

Wat betekent **LxxByy** :

Een L80B10-waarde van 50.000 branduren betekent dat na 50.000 branduren maximaal 10% van de led-verlichtingstoestellen (B-getal) teruggevallen is tot minder dan 80% van hun initiële lichtstroom (L-getal), of anders gezegd: na 50.000 branduren stralen tenminste 90% van de led-verlichtingstoestellen nog minstens 80% van hun initiële lichtstroom uit. Deze totale afname van de lichtstroom uit een LED-verlichtingstoestel kan het gevolg zijn van de lichtstroomafname of van het stukgaan van individuele leds.

In de LxxByy-waarde kunnen defecten van volledige LED-verlichtingstoestellen (dus: lichtstroom uit het verlichtingstoestel is gelijk aan 0 lm) - bijvoorbeeld door het defect gaan van de driver of door falen van een elektrische verbinding - al dan niet worden meegerekend. Sommigen fabrikanten rekenen deze wel mee, zoals wordt aangeraden in de [LED Luminaire Lifetime Guide](#) (pag. 6).

Voor de *maintenance factor* is een Lxx waarde nodig die een gemiddelde is zonder deze volledige defecten. Alhoewel LxxB50 de mediaan aangeeft i.p.v. het gemiddelde, is dit verschil voldoende verwaarloosbaar (nihil bij een normale verdeling) en wordt soms de term LxxB50 gebruikt als eigenlijk de gemiddelde Lxx opgegeven wordt.

Het is van belang om aan te geven dat deze Lxx-waarden geen onvoorwaardelijk geldende waarden zijn, maar wel volgen uit een extrapolatie van meetgegevens die verzameld werden in een veel kortere tijdspanne dan de opgegeven levensduur (zie verder). Anders zou een test over bijvoorbeeld 50.000 branduren moeten uitgevoerd worden, wat overeen zou komen met het continu branden van de LED-verlichtingstoestellen gedurende meer dan 5 jaar!

Het is belangrijk om ervan bewust te zijn dat bovenstaande definities hier handelen over led-verlichtingstoestellen en niet over individuele leds in deze toestellen!

De definitie LxxByy wordt ook gebruikt voor individuele led-packages.

## Welke tijdsduur (Lxx) gebruiken?

Het is aangeraden om met een aantal varianten van gebruiksduur te simuleren.

Een langere gebruiksduur vergt een grotere overdimensionering, met als economisch nadeel: groter energieverbruik (tenzij dit geregeld wordt door initieel terug te dimmen).

Een langere gebruiksduur heeft ook economische voordelen:

- lagere toestelkosten per branduur,
- lagere montagekosten per branduur.

Er zijn anno 2014 reeds enkele led-verlichtingstoestellen beschikbaar met een totaal rendement van > 130 lm/W: indien hier als voorbeeld zou gekozen worden voor een L65 gebruiksduur dan heeft men een equivalent rendement van 85 'behouden lumen' per Watt. Dit betekent dat het energieverbruik net in de buurt komt van de beste fluorescentie-verlichting (T5 HE). Een L65 waarde zal waarschijnlijk een onrealistisch lange gebruiksduur geven (> 100.000 u) en niet de beste dimensionering zijn.

Maintenance factor Vermogen voor 3000 behouden lumen	1 shift 5 dag/week 10 jaar	1 shift 5 dag/week 15 jaar	2 shift 6 dag/week 15 jaar	Continu 12 jaar
	25.800 u	38.700 u	74.400 u	105.120 u
armatuur T5 85 lm/W	0,78 45,3 W	0,78 45,3 W	0,78 45,3 W	0,78 45,3 W
led 100 lm/W L80 = 50.000u	0,80 37,7 W	0,75 39,9 W	0,64 46,8 W	0,56 53,7 W
led 100 lm/W L80B10 = 50.000u	0,82 36,5 W	0,79 38,1 W	0,70 42,8 W	0,63 47,3 W
led 125 lm/W L80 = 50.000u	0,80 30,2 W	0,75 31,9 W	0,64 37,5 W	0,56 43,0 W
led 110 lm/W L97 = 50.000u	0,88 31,0 W	0,87 31,3 W	0,85 32,0 W	0,84 32,6 W

De waarde bovenaan is de *maintenance factor*  $MF = LLMF \times RSMF \times LMF$ .

De waarde onderaan is het vermogen voor 3000 behouden lumen.

Een overdimensionering zonder regeling betekent dat de gebruiker het grootste deel van de tijd een hogere verlichtingssterkte zal hebben, met als voordelen o.a. een betere productiviteit en alertheid. ([website SSL-erate](#) )

Er zijn methodes om het verbruik van de overdimensionering te minimaliseren:

- Een lichtregeling.
- Sommige drivers hebben een instelbare stroom en deze zou via een onderhoudsschema kunnen aangepast worden.
- Sommige led-verlichtingstoestellen hebben een schakeling die de stroom verhoogt over tijd om de lichtstroom constant te houden.

In al deze gevallen moet het stijgende vermogen over de tijd correct meegerekend worden in de berekening van de totale energie over de gebruiksduur.

Om te bepalen wat meest kost-efficiënt is, is het informatiever om met een aantal varianten van Lxx te simuleren dan te trachten het optimum te voorspellen.

Verlichtingsinstallaties worden vervangen vóór het einde van de levensduur o.a. omdat een energie-efficiëntere nieuwe installatie goedkoper is binnen een korte gebruiksduur. De efficiëntie verbeterde vroeger in trappen (T12→ T8→ T5→ led), maar de efficiëntie van de led-package blijft traploos toenemen en zal afvlakken rond 2020. De led-verlichtingstoestellen volgen dezelfde trend (x armatuurrendement) met ongeveer 1 tot 1,5 jaar vertraging. Ook de kostprijs zal dalen met het stijgende rendement omdat minder koeling en een driver met lager vermogen vereist is. Dit vooruitzicht bepaalt het tijdstip waarop het opnieuw interessant wordt om de verlichtingsinstallatie te vervangen en dit is een belangrijke parameter voor de correcte gebruiksduur.



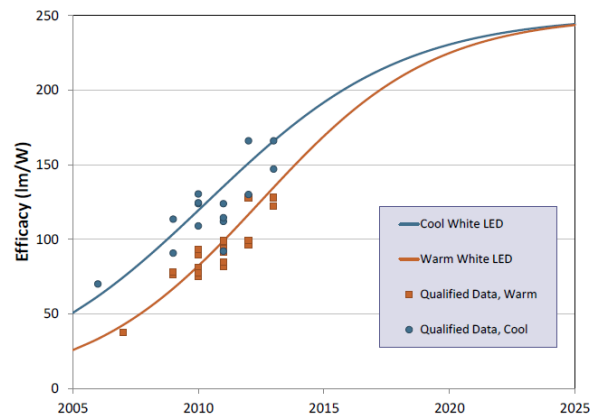
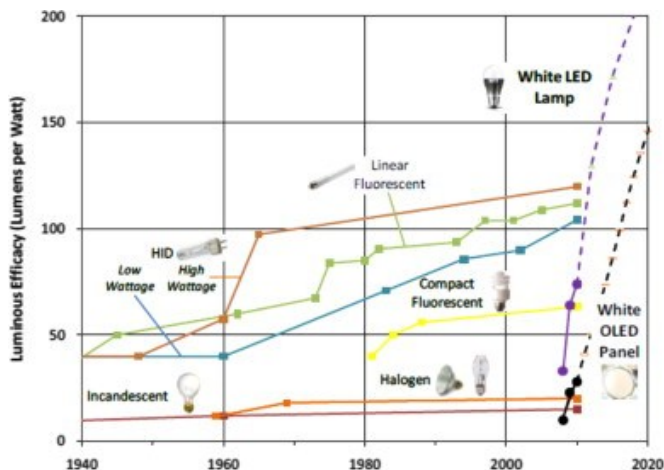


FIGURE 4.1 WHITE-LIGHT PC-LED PACKAGE EFFICACY PROJECTIONS FOR COMMERCIAL PRODUCT

(Figuren: [UCLB SSLEC James Speck](#) en [DOE SSL R&D Multi-Year Program Plan](#)). Bovenstaande figuren tonen de efficiëntie van lichtbronnen met een redelijke kleurweergave (CRI 80). Voor een goede of uitstekende kleurweergave ligt de efficiëntie lager.

*Rekenvoorbeeld* van energieverbruik en energiekost voor een kantoor met 1 shift, 5 dagen per week gedurende 25 jaar vanaf 2014.

Totale energie en energiekost per 3000 behouden lumen voor een elektriciteitsprijs van 0,10 €/kWh met 2% toename per jaar.

- |  |                    |
|--|--------------------|
| a) 25 jaar met vaste led-verlichting 100 lm/W, L80 = 50.000u:  | 2890 kWh, 370 euro |
| b) 7 jaar met led-verlichting 100 lm/W, L80 = 50.000u, daarna vervanging door 190 lm/W, L97 = 50.000u: | 1549 kWh, 192 euro |

De verwachting is dat vanaf 2020 een 3500 lumen LED inbouwverlichtingstoestel grootteorde 100 euro zal kosten, ([DOE SSL R&D Multi-Year Program plan](#), pag 61 tabel 4.4). Rekening houdend met de installatiekost kan er per verlichtingspunt iets bespaard worden door onmiddellijk te vervangen na 2020, maar niet veel. In dit voorbeeld is er dus een kans dat de verlichtingsinstallatie zal vervangen worden voor het einde van de levensduur, maar het is geen zekerheid.

Indien gestart wordt met een T5 armatuur of indien er een intensiever gebruik is dan 2580 uur/jaar, dan is er een heel grote kans dat een vervanging zal plaats vinden.

Indien gestart wordt met een hoger rendement of een beter lichtstroombehoud dan wordt de kans klein.

## Oorzaken van lichtstroom-afname

De meeste LED verlichtingstoestellen gebruiken meerdere blauwe leds met een fosforlaag dat een gedeelte van het blauwe licht omzet naar groen en rood licht. Er zijn varianten die violette leds gebruiken of een deel van het rode licht via afzonderlijke rode leds genereren (voor toepassingen met variabele kleurtemperatuur). Voor de fosfor zijn er verschillende configuraties mogelijk: van sterk geconcentreerd in een dunne laag dicht bij de blauwe led-chip tot verspreid in een groter volume verder weg van de led-chip.

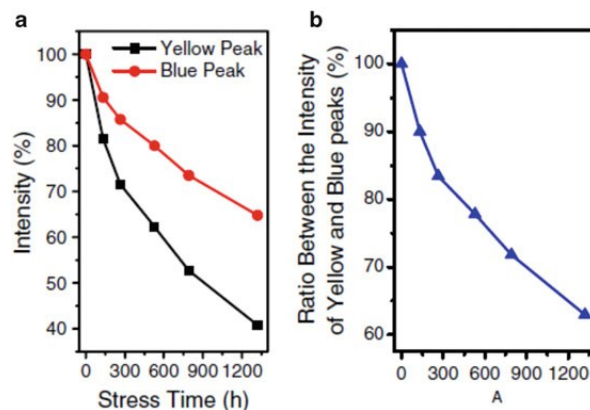
Belangrijkste oorzaken van lichtstroom-afname zijn:

- Diffusie van de dotering in de halfgeleider.
- Daling van de omzettingsefficiëntie van de fosfor.

- Vergelijking van de epoxy inkapseling en van de optische polymeren gebruikt als lens.
- Degraderatie van het thermisch interface materiaal (TIM).
- Defecten van individuele leds.

### *Lichtstroom-afname door diffusie van de dotering en daling van de efficiëntie van de fosfor*

Dit verloopt sneller bij een hogere stroomdichtheid en hogere temperatuur. Vanwege de omzettingsverliezen warmen de fosfordeeltjes ook zelf op en daardoor is ook de thermische geleiding van de fosfordeeltjes naar de omgeving een belangrijke parameter voor de daling van de efficiëntie.



Figuur:  
[J Meneghesso, UNIPD](#)

Bovenstaande figuur toont de afname van de lichtintensiteit door blootstelling aan 140°C zonder stroom (tenzij op de meetmomenten). De rode curve is de afname door oorzaken in de blauwe led, de blauwe curve is de afname door oorzaken in de fosfor. De afname door de led-chip en fosfor zijn in dit geval gelijkaardig en tonen dat de temperatuur een heel belangrijke factor is.

Een voorbeeld van een led-package (Bron: [Cree](#)):

Case Temp. [Ts]	Drive Current [IF]	Average Lumen Maintenance at 6,000 hours	Reported TM-21 Lifetimes
55°C	333 mA (36V)	97.20%	L90(6k) = 25,500 hrs
85°C	333 mA (36V)	95.50%	L90(6k) = 15,900 hrs
105°C	333 mA (36V)	94.00%	L90(6k) = 14,300 hrs
55°C	500 mA (36V)	95.80%	L90(6k) = 23,500 hrs
85°C	500 mA (36V)	92.70%	L90(6k) = 13,200 hrs
105°C	500 mA (36V)	92.50%	L90(6k) = 11,800 hrs
105°C	700 mA (36V)	91.50%	L90(6k) = 14,000 hrs

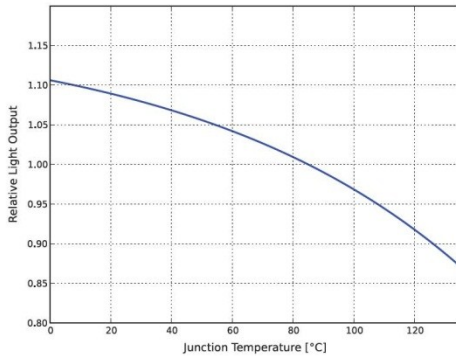
Hogere behuizingtemperatuur = hogere lichtstroom-afname

Hogere stroom = hogere lichtstroom-afname

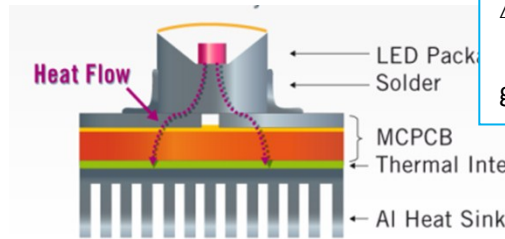
## Degradatie van het thermisch interface materiaal



De thermische weerstand van het thermisch interface materiaal kan stijgen over de gebruikstijd. De temperatuur van de led-package wordt daardoor hoger voor eenzelfde omgevingstemperatuur. De lichtstroom van een led-package is lager bij een hogere temperatuur. Een toename van de thermische weerstand resulteert daardoor in een afname van de lichtstroom.



Figuur: Lumileds



$$\Delta T = R_{th} \times P$$

= thermische weerstand x  
gedissipeerd vermogen

## Defecten van individuele leds

Een defecte led-chip resulteert ruwweg in een open (~10%) of kortgesloten component (~90%). In een verlichtingstoestel met meerdere led-chips in serie, resulteert de kortgesloten component in een lichtstroom-afname van  $1/(\text{totaal aantal led-chips})$ . Zonder extra maatregelen resulteert een open component in geen stroom in de kring, geen licht en is dus een defect van het verlichtingstoestel: geen impact op de LLMF, wel op de LSF tenzij defecten onmiddellijk vervangen worden.

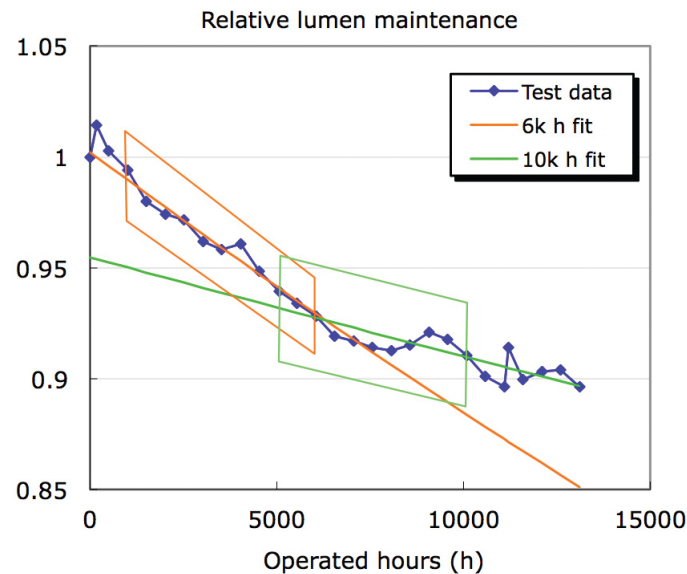
De spanning over een open component kan ook beperkt worden zodat er wel nog stroom vloeit in de seriekring (dit kan met een zenerdiode of specifieke componenten die voor dit doel beschikbaar zijn). In dit geval is er geen defect van het verlichtingstoestel maar wel een lichtstroomafname van  $1/(\text{totaal aantal led-chips})$ .

Een aantal seriekringen kunnen ook parallel geschakeld worden op dezelfde driver, en dan zorgt een defecte led voor een andere stroomverhouding in de parallelle kringen. Ook hiervoor bestaan componenten om dit in balans te houden. Een fabrikant van verlichtingstoestellen heeft dus mogelijkheden om defecten ten gevolge van een defecte led-chip te beperken mits een extra kost.

De betrouwbaarheid van individuele leds is uitstekend: 10% defect op 1.000.000 uur voor een bepaalde fabrikant. Defecten hebben een Weibull-verdeling en deze laat toe om de gemiddelde lichtstroom-afname over de tijd ten gevolge van defecten te berekenen: na 50.000 uur geeft dit 0,3% lichtstroomafname.

## Bepaling lichtstroombehoud van led-packages

Voor de bepaling van het lichtstroombehoud van de led-lichtbron (led-package) wordt meestal de methode volgens IES LM-80-08 en TM-21-11 gebruikt.



Enkele voorwaarden en bepalingen:

- 20 samples per substraattemperatuur.
- 3 substraattemperaturen: 55°C, x°C, 85°C.
- Datapunten vanaf 1000 uur tot minimum 6000 uur, interval tussen datapunten  $\leq 1000$  uur.
- Lichtstroombehoudscurve: extrapolatie met een exponentiële functie door de gemiddelde lichtstroomdata van de laatste 5000 uur. (of laatste tijdshelft indien groter).
- Het maximum dat men mag rapporteren is 6 x de testduur. Vb.: L70(10k) > 60.000 uur.

Enkele van de hierboven vermelde oorzaken van lichtstroom-afname hebben een effect dat redelijk goed fit met een exponentiële functie, vandaar de keuze van een simpele exponentiële functie voor de extrapolatie. Maar er zijn meerdere oorzaken met elk hun eigen effect op de lichtstroom, en de exponentiële extrapolatie is niet per definitie de beste fit. Als er een langere testduur gekozen wordt gebeurt het vaak dat de lichtstroom minder verval blijkt te hebben.

## Bepaling lichtstroombehoud van led-verlichtingstoestellen

Er was nog geen standaardprocedure voor led-verlichtingstoestellen om het lichtstroombehoud op langere termijn te voorspellen uit een kortere meetduur. De fabrikant van verlichtingstoestellen bepaalt zelf deze methode.

De fabrikant gebruikt meestal de testresultaten van de led-packages zoals in de tabel op pagina 10, en bepaalt dan via een exponentiële interpolatie het lichtstroombehoud van de led-packages voor de stroom- en temperatuurcondities in zijn verlichtingstoestel. Het lichtstroombehoud over langere termijn wordt bepaald via extrapolatie (meestal IES TM-21). Daarnaast moet hij ook nog de factoren in rekening brengen buiten de led-package: thermisch interface materiaal, individuele defecten (impact van serie en parallel schakelingen), verkleuring optische componenten.

Deze inschatting van het lichtstroombehoud bevat onzekerheden zoals de exponentiële interpolatie en extrapolatie, de verhouding in de bijdrages van de verschillende oorzaken tussen testcondities en actueel gebruik. Via empirische kennis en bijkomende testen kan een nauwkeuriger voorspelling gemaakt worden.

Sinds kort is er een procedure van de IES: LM-84-14 en TM-28-14. Hierin komen 2 methodes aan bod: een *directe methode* die uitsluitend testresultaten van de verlichtingstoestellen gebruikt en een *gecombineerde methode* die zowel testresultaten van de verlichtingstoestellen als de LM-80 testresultaten van de led-packages gebruikt.

Enkele voorwaarden en bepalingen van de *directe methode*:

- Minimum 3 samples per omgevingstemperatuur.
- 1 of meer omgevingstemperaturen, vb. 25°C en 45°C (interpolatiemethode voor tussenliggende temperaturen).
- Datapunten tot minimum 6000 uur, interval tussen datapunten  $\leq 1000$  uur.
- Lichtstroombehoudscurve: extrapolatie met een exponentiële functie door de gemiddelde lichtstroomdata van de laatste 5000 uur (of laatste tijdshelft indien groter).
- Het maximum dat men mag rapporteren hangt af van het aantal samples: van 3 x de testduur voor 3 samples tot 6 x de testduur voor  $\geq 10$  samples. Vb.: L80(6k) > 36000 uur bij  $T_a = 25^\circ\text{C}$ .

Enkele voorwaarden en bepalingen van de *gecombineerde methode*:

- Alleen aanbevolen indien testduur < 6000 uur.
- Minimum 5 samples.
- 1 of meer omgevingstemperaturen, vb. 25°C en 45°C (interpolatiemethode voor tussenliggende temperaturen).
- Datapunten tot minimum 3000 uur (< 6000 uur), interval tussen datapunten  $\leq 500$  uur.
- Lichtstroombehoudscurve: extrapolatie met een exponentiële functie van de led-package data met de exponentiële helling en startwaarde aangepast door de testwaarden van de verlichtingstoestellen.
- Het maximum dat men mag rapporteren hangt af van het aantal samples: van 1.5 x de testduur voor 5 samples tot 6 x de testduur voor  $\geq 15$  samples. Vb.: L80(3k, 6k) > 18.000 uur bij  $T_a = 25^\circ\text{C}$ .

Aangezien de gecombineerde methode slechts een maximale rapportering van < 36000 uur toelaat, zal een fabrikant van verlichtingstoestellen uiteindelijk toch de testen moeten verderzetten om later via de directe methode een langer lichtstroombehoud te kunnen rapporteren.

### *Extrapolatie t.o.v. realiteit: led-vervanglamp*

Een led-vervanglamp heeft dezelfde onderdelen als een led-verlichtingstoestel: led-chip (een of meerdere), inkapseling, fosfor, koellichaam, driver. Wegens de beperkte afmeting zijn deze iets eenvoudiger om op te meten.

Led-vervanglampen en led-verlichtingstoestellen kunnen ontworpen worden voor verschillend lichtstroombehoud. Vanwege de prijsdruk op vervanglampen en het feit dat deze slechts beperkt beter moeten zijn dan CFL, vind je in deze categorie de led-producten ontworpen voor een minder lange behoudsduur.

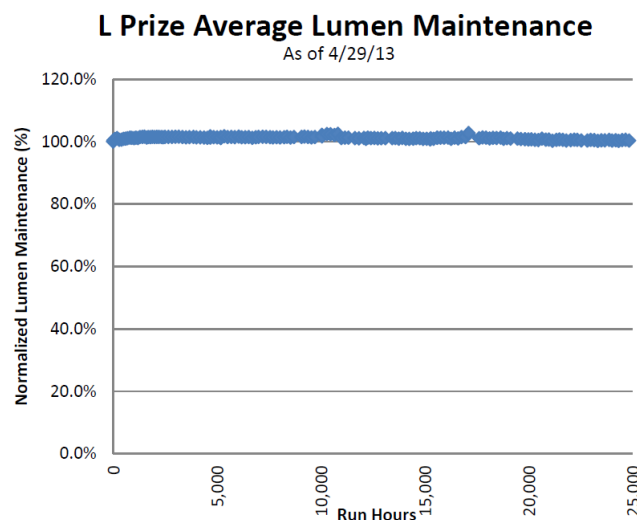
De eisen gesteld in EU 1194/2012 zijn:

Lichtstroombehoud bij 6000 uur:  $\geq 0,80$

De meeste fabrikanten van led-vervanglampen specificeren een levensduur (70% lichtstroombehoud) van 15000 of 25000 uur. Dit wijkt weinig af van bovenstaande eis. Het is dan ook niet te verwonderen dat in een Europese steekproef enkele led-lampen de eis van EU 1194/2012 niet gehaald hebben. (o.a. [Which?](#) 01/2014, [Stiftung Warentest](#) 10/2013)

De US DOE is een van de weinige instellingen die in hun SSL-programma onafhankelijke testen uitvoert met voldoende samples, en uitgebreide gegevens over een langere meetduur publiceert. De levensduurtesten van 15 led-lampen (800 lumen, ~ E27) worden binnenkort gepubliceerd.

De Philips L-Prize lamp is niet ontworpen naar minimale kost maar naar state-of-the-art specificaties (anno 2010). Het SSL-programma van de US DOE heeft 200 van deze lampen in [langdurige test](#). Volgende resultaten tonen wat haalbaar is met led-technologie met een goed ontwerp. De extrapolatie na 7000 uur voorspelde volgende gemiddeld lichtstroombehoud: 97% na 25.000 uur. De reële waarde na 25.000 uur blijkt iets hoger te zijn: 100%.



## Defecten

Defecten led-package: 10% op 1.000.000 uur

Defecten led-driver (EVSA): 10% op 50.000 uur

Voor de *maintenance factor* wordt verondersteld dat defecten onmiddellijk vervangen worden en daarom is het interessant dat een component zoals een driver gemakkelijk vervangen kan worden i.p.v. het volledige verlichtingstoestel.

Omdat het percentage defecte led-verlichtingstoestellen relevant is voor de gebruiker, werd ook het F-getal van het led-verlichtingstoestel gedefinieerd: een F10-waarde van 60.000 branduren betekent dat na 60.000 branduren maximaal 10% van de LED-verlichtingstoestellen (F-getal) defect zijn gegaan.

Merk op dat de Lxx(Byy)-waarde en de Fzz-waarde voor een bepaald LED-verlichtingstoestel dus niet per se op eenzelfde aantal branduren gespecificeerd hoeven te worden. Dit wordt echter meestal wel gedaan, zodat voor een LED-verlichtingstoestel meteen de volledige specificatie kan gegeven worden: de Lxx(Byy)Fzz-waarde gelijk aan een bepaald aantal branduren.

## Definitie levensduur

De definitie van levensduur is: de nuttige gebruiksduur.

Er zijn een aantal parameters die de nuttige gebruiksduur bepalen:

- Lichtstroombehoud Lxx: vb. 90%, 80%, 70%, ...
- Aantal defecten Fxx: vb. 10%, 50%
- Kleurafwijking Cx: vb.  $\Delta_{uv}$  0.003, 0.004
- Efficiëntie behoud (lm/W): vb. 90%

Om verlichtingstoestellen met elkaar te kunnen vergelijken, is het nuttig om eenzelfde definitie te hebben voor 'levensduur' voor alle fabrikanten, zelfs al wijkt deze af van de nuttige gebruiksduur. Er is hiervoor nog geen standaard voor led-verlichtingstoestellen, zie o.a. CEN M/519 en de [LED Luminaire Lifetime Guide](#) (pag. 4).

Voor led-lampen is de definitie van levensduur volgens EU 1194/2012:

Gemiddeld lumenbehoud: 70%

Aantal defecten: 50%

De vermelde levensduur is dus de L70F50 waarde.

## Besluit

De nuttige gebruiksduur van led-verlichtingstoestellen is niet de facto de levensduur die de specificatie vermeldt. De optimale gebruiksduur hangt af van het lichtstroombehoud, het initiële rendement, de gebruiksuren per jaar en de technologische evolutie. Een goede keuze van de gebruiksduur is een belangrijke parameter voor led-verlichting. De berekening van een aantal varianten leidt tot betere resultaten dan simpele vuistregels.

<sup>i</sup> [Zumtobel The Lighting Handbook](#) pag 254-255